

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl. ⁶ B25J 19/00 B25J 11/00		(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2001년11월05일 10-0301231 2001년06월22일
(21) 출원번호 (22) 출원일자 (73) 특허권자 (72) 발명자 (74) 대리인	10-1998-0040198 1998년09월28일 한국과학기술연구원 박호군 서울 성북구 하월곡2동 39-1 박종오 서울특별시 서초구 잠원동 한강아파트 1동 302호 강병훈 서울특별시 금천구 독산2동 378-422 이종일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	특2000-0021210 2000년04월25일

심사관 : 이풍우

(54) 로봇의작업경로자동보정방법

요약

본 발명은 3차원 공간상에서 가공물체의 위치 및 자세를 가공물체위에 생성된 좌표계를 기준으로 계산하는 강제 및 비강제 대상물에 대한 로봇의 작업경로 자동보정방법에 관한 것이다. 로봇을 이용한 작업시 선형(Translation)운동과 회전(Rotation)운동에 의한 변형 외에비틀림이나 굽힘 등에 의한 대상물체의 위치보정을 할 수 있도록 로봇 끝단에 부착된 레이저 비전 센서를 이용하여 기준가공 대상체의 측정 기준점을 측정하여 가공 대상체 위에 물체 좌표계를 설정하고, 같은 방법으로 현재 가공 대상체의 측정 기준점을 측정하여 물체 좌표계를 설정한다. 상기에 의해 설정된 두 좌표계 사이의 변형량을 4×4 행렬로 표현하고,상기 변형량을 로봇의 가공경로에 이용하여 보정하는 로봇의 작업경로 자동보정방법을 제시한다.

대표도

도4

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 레이저 비전 센서의 측정 예시도
도 2는 3차원상에 존재하는 물체의 위치를 정의하는 예시도
도 3은 기준물체와 측정물체의 좌표계를 설명하기 위한 예시도
도 4는 본 발명인 로봇의 작업경로 자동보정방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

10 : 기준 물체 20 : 현재측정물체
30 : 로봇 40 : 레이저 비전 센서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

발명은 3차원 공간상에서 가공물체의 위치 및 자세를 가공물체위에 생성된 좌표계를 기준으로 계산하는 강제 및 비강제 대상물에 대한 로봇의 작업경로 자동보정방법에 관한 것이다.

인간의 작업을 대신하기 위하여 산업 현장에서는 산업용 로봇을 이용하여 자동화 작업을 수행한다. 산업용 로봇은 한번교시하여 놓은 위치와 자세를 로봇이 허용하는 정밀도 내에서 반복 작업을 할 수 있으므로, 단순 반복작업을 요하는 생산라인에서는 그 필요성이 날로 증가하고 있다.

하지만, 대부분의 산업용 로봇은 자동화 작업을 수행하기 위하여 미리 작업 경로에 대하여 위치와 자세의 정보를 입력 받아야 하고, 상기 정보를 로봇에 부착된 교시기에 의하여 작업자가 로봇을 움직여 가며 작업 경로에 대한 필요한 자세와위치의 정보를 얻는다.

또한, 같은 작업 대상 물체라 하더라도 로봇 앞에 놓이는 위치와 자세가 매번 바뀐다면, 미리 교시하여 놓은 작업 경로로 가공 작업을 수행하게 될 경우 가공 품질을 떨어뜨릴 수가 있고, 경우에 따라서 불량 제품을 생산하게 된다.

따라서, 가공 작업이 수행되기 전에 현재 작업 대상물의 위치와 자세가 교시할 경우의 작업 대상물의 위치와 자세에 대하여 상대적으로 얼마나 변하였는지를 측정하여 미리 교시된 작업 경로는 보정할 필요가 있다.

상기와 같은 경우를 위하여 근래에는 로봇의 끝단에 센서를 달아서 현재 로봇의 위치와 자세를 가공 물체와의 상대적인거리값으로 측정하여 실제 작업을 수행할 때에 필요한 로봇의 가공 경로에 대한 정보를 얻으려는 방법이 많이 행하여 지고 있다. 이때 필요한 것이 본 발명의 기술분야인 로봇의 끝단에 부착된 센서 좌표계로부터 측정된 대상물체의 좌표계 사이의 관계를 유도하는 방법이다.

상기와 같이 대상 물체의 위치변형에 대응하여 교시된 로봇의 작업 경로를 보정하는 기존의 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다.

첫번째는, 각각의 대상 물체에 대하여 위치 및 자세의 변형을 무시할 수 있도록 고정도(High Accuracy)의 보정구(Fixture)를 설계하여 이용하는 방법이다. 즉, 로봇의 작업 경로를 교시할 때와 실제 가공 작업이 수행될 때의 작업 대상물 위치와 자세를 허용공차 범위 내에 있음을 신뢰할 수 있도록 작업 대상물을 위치시키는 보정구를 설계하는 것이다. 상기와 같은 방법은 실제 공장 자동화에서 많이 사용되어지고 있다. 하지만, 상기 방법은 보정구가 있으면 쉽게 적용할 수 있지만, 보정구를 설계하는 비용이 매우 고가이고, 또한 시간과 비용이 많이 든다. 또한, 예기치 못한 보정구의 불량이나오차의 발생시 대처할 수 없다.

두번째로는, 슬릿광 2D 레이저 센서를 이용하여 실제 작업 수행시, 작업 대상물의 위치와 자세를 교시할 수행할 때와 비교하여 상대적인 양을 계산하여 로봇의 작업 경로를 매번 보정한다. 그러나 기존의 방법들은 대상물을 강체(Rigid Body)로 가정하고 오직 물체의 위치와 자세의 값들만 측정한다.

세번째로는, 라인 레이저 비전 센서를 사용하여 보정하는 방법인데 도 1을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

도 1은 레이저 비전 센서의 측정 예시도이다.

도 1을 참조하여 설명하면, 라인 레이저 비전 센서는 도 1과 같이 한 레이저 라인 선상에 대하여 3차원 정보값을 얻어 낼수 있는 센서를 말한다. 이러한 3차원 센서를 이용하여 기존 대상체와 현재 대상체 사이의 좌표축 상관 관계를 계산하여불확실한 보정구(Fixture)의 위치를 보정하고, 가공 대상체 자체의 변형도 보정한다. 기존의 위치보정 방법은 가공 대상체를 강체로 가정하여 대상체의 위치오차 발생 원인을 선형(Translation)운동과 회전(Rotation)운동의 경우로만 한정한다. 따라서, 가공 대상체의 위치와 자세를 결정하는 측정 기준점들간의 상대적인 위치오차나 변형은 존재하지 않는다고 가정하여 생산 라인에서 가공 대상물을 반복적으로 여러 번 측정함으로써 로봇에 대한 절대적인 가공 대상체의 위치와 방향을 결정하였다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

상기와 같은 본 발명의 기술분야인 센서를 이용한 기존의 보정방법은 대상물에 변형이 생겼거나, 측정 기준점이 대상물의변형에 의하여 들어졌을 경우에는 적용할 수 없다. 즉, 적용이 가능한 대상물의 종류가 제한적이고, 또한 대상물의 기준위치와 자세를 결정할 때 작업 라인에서 여러번 측정을 통한 평균치를 취하여 기준점으로 취하고 있으므로 작업정도를 정량적으로 신뢰할 수 없는 문제점이 있었다.

본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하고자 제시된 것으로서, 본 발명의 목적은 선형(Translation)운동과 회전(Rotation)운동에 의한 변형 외에 비틀림이나 굽힘 등에 의한 대상물체의 위치보정을 할 수 있도록 로봇 끝단에 부착된레이저 비전 센서를 이용하여 기존 가공 대상체의 측정 기준점을 측정하여 가공 대상체 위에 물체 좌표계를 설정하고, 같은 방법으로 현재 가공 대상체의 측정 기준점을 측정하여 물체 좌표계를 설정한다. 상기에 의해 설정된 두 좌표계 사이의변형량을 4×4 행렬로 표현하여 로봇의 가공경로에 이용하여 보정하는 로봇의 작업경로 자동보정방법을 제공하는 데 있다.

발명의 구성 및 작용

이하에서는 본 발명의 실시예의 구성 및 작용에 관하여 첨부된 도면 및 수학적, 표를 참조하여 설명하고자 한다.

도 2는 3차원상에 존재하는 물체의 위치를 정의하는 예시도이다.

도 3은 기준물체와 측정물체의 좌표계를 설명하기 위한 예시도이다.

실제 로봇을 이용한 작업에서 로봇작업경로를 매번 보정하기 위하여 측정이 필요한 위치오차 발생 부위는 두가지가 있다.첫번째, 기준측정점이 이동하는 경우와, 두번째, 검사 대상부위가 이동하는 경우이다. 상기의 두가지 경우에 해당하는 위치오차 발생부위를 표 1에 나타내었다.

[표 1]

측정이 필요한 위치오차 발생 부위

위치 오차	고 려 대 상	보정여부
1. 기준측정점의 이동	1.1 강체인 경우: 선형(Translation)운동과 회전(Rotation)운동 등 대상체 자체의 이동만 고려	고려함
	1.2 비강체인 경우: 선형(Translation)운동, 회전(Rotation)운동, 비틀림, 굽힘 등 다른 부위변형에 의한 측정점의 이동 고려	고려함
2. 검사 부위의 이동	2.1 버(burr), 탄성변형량(spring back), 홀센터(hole center), 면의 기울기 등 측정부위가 검사허용 오차 내에 들어온 경우만 고려	고려함
	2.2 가공불량, 변형이 심해 센서의 레이저 라인이 특징점을 비추지 못하는 경우	고려안함

상기 표 1을 참조하여 설명하면, 첫번째로 로봇의 경로를 교시할 때의 기준 작업 대상물에 대한 현재 작업 대상물의 틀어진 정도를 정의할 수 있는 기준 측정점의 오차가 발생하는 경우이다. 즉, 3차원상에 존재하는 물체의 위치를 정의하기 위하여는 도 2와 같이 X, Y, Z의 3개축에서 적어도 한 축상에서는 3점, 또 한 축상으로는 2점, 나머지 한 축상으로 1점의 위치를 알아야 한다. 상기 도 2는 Z축상으로는 3점, X축상으로는 2점, Y축상으로 1점의 위치를 파악하여 위치를 정의하였다.

따라서, 3차원상에서 물체의 위치와 방향을 정의하기 위해서는 적어도 3개의 기준 측정점이 존재하여야 하고, 상기 기준측정점의 오차에 의하여 현재 대상물체의 위치와 방향으로 로봇 경로를 교시할 때 기준 작업 대상물의 위치와 방향이 달라지게 된다. 기준 측정점의 오차는 표 1과 같이 작업 대상물이 강체인 경우와 비강체인 경우에 따라서 발생 원인이 서로다른데, 강체인 경우에는 작업 대상물의 선형(Translation)운동과 회전(Rotation)운동에 의해서만 발생이 된다. 상기와는 다르게 비강체의 작업 대상물인 경우 기준 측정점의 오차는 작업 대상물의 선형(Translation)운동과 회전(Rotation)운동외에 굽힘 변형, 비틀림 변형 등에 의해 발생한다.

두번째로 측정해야 하는 위치오차 발생 부위는 실제 로봇 작업 경로가 필요한 작업 대상부위이다. 작업 대상부위란 작업대상물 중에서 로봇을 이용하여 실제 가공작업 또는 검사작업이 이루어져야 하는 부위로 예를 들면 다음과 같다.

- 1) 가공하여 없애야 하는 버(burr)가 존재하는 부위.
- 2) 가공하여 없애야 하는 용접 비드(bead)가 존재하는 부위.
- 3) 굽힘에 의하여 발생하는 탄성 변형량(Spring Back)을 검사해야 하는 부위.
- 4) 펀칭(punching)에 의하여 생기는 홀(hole)이나, 슬롯(slot)의 위치를 검사해야 하는 부위.
- 5) 그 외에 가공면의 기하학적 형상을 검사해야 하는 부위.

실제로 현재의 작업 대상물에 대하여 보정되어야 하는 로봇의 작업 경로는 작업 대상부위를 측정하여 얻어져야 한다. 상기와 같은 작업대상 부위의 오차발생 원인은 표 1과 같이 두가지의 경우로 나뉘어 질 수 있다. 레이저 센서에 의한 오차부위 검사시, 검사부위가 대상물의 허용 공차 내에 들어올 경우와 들어 오지 않을 경우이다.

검사부위가 대상물의 허용 공차 내에 들어올 경우에는 검사부위의 변형량을 측정할 수 있으므로, 현재 대상물체의 기준좌표계를 기준으로 상대적인 변형량을 측정한다. 상기와 같이 측정된 변형량을 이용하여 로봇의 가공 경로를 결정한다. 검사부위가 대상물의 허용 공차 내에 들어오지 않는 경우에는 로봇의 가공 경로 보정을 통한 가공이나, 검사보다는 대상물 자체를 불량처리 하여야 한다.

상기와 같이 측정이 필요한 위치오차 발생 부위를 정의하고, 로봇의 가공경로보정을 위하여 본 발명은 다음과 같은 방법으로 문제를 해결한다.

첫번째로 기준 측정점의 이동에서는 작업 대상물이 강체인 경우와 비강체인 경우를 모두 고려하여 기준 작업 대상물과 현재 측정 대상물에 각각 독립적인 대상물 좌표계를 설정한다. 그리고 상기 좌표계를 기준

으로 서로간의 물체에 대한 좌표계 변환량을 계산해 내고, 상기 변환량을 통하여 두 대상물 사이의 위치와 방향의 변화량을 계산해 낸다.

두번째로 작업 대상부위의 이동량은 우선 측정 부위를 검사하여 검사허용 공차 내에서 검사가 이루어지면, 첫번째 과정에서 구한 현재 작업 대상물의 좌표계를 기준으로 상대적인 변형량을 계산해 낸다. 상기 변형량을 통하여 현재 작업 대상물에 대한 로봇의 가공 경로를 보정한다. 그러나, 작업 대상부위가 검사허용 공차 내에서 검사가 이루어지지 않으면 작업대상물 자체의 생산시 결함으로 결정하고, 작업대상물을 불량처리한다.

상기에서 기준물체와 측정물체의 좌표계를 설정하는 방법에 대하여 도 3을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

도 3은 기준물체와 측정물체의 좌표계 설정을 설명하기 위한 예시도이다.

도 3은 작업을 수행하는 로봇(30)과, 상기 로봇(30)에 부착되어 물체의 위치를 측정하는 레이저 비전 센서(40)와, 현재측정물체(20)와, 기준 물체(10) 그리고 각 측정물체의 좌표계로 이루어 졌다. 로봇(30)의 끝단에 부착된 레이저 비전 센서(40)를 이용하여 기준 물체에서 측정한 기준 측정점의 위치를 $P1(x_1, y_1, z_1)$, $P2(x_2, y_2, z_2)$, $P3(x_3, y_3, z_3)$ 라 하고, 현재측정 물체에서 측정한 기준 측정점의 위치를 $P'1(x'_1, y'_1, z'_1)$, $P'2(x'_2, y'_2, z'_2)$, $P'3(x'_3, y'_3, z'_3)$ 라 한다. 상기 $P1(x_1, y_1, z_1)$, $P2(x_2, y_2, z_2)$, $P3(x_3, y_3, z_3)$ 와 $P'1(x'_1, y'_1, z'_1)$, $P'2(x'_2, y'_2, z'_2)$, $P'3(x'_3, y'_3, z'_3)$ 를 이용하여 각각의 대상체에 대상체 좌표계를 설정한다.

먼저, 기준 물체의 대상체 좌표계를 설정하는 방법은 다음과 같다.

우선 기준 물체의 대상체 좌표계 초기 원점을 $P1(x_1, y_1, z_1)$ 으로 가정한다. 상기 과정에 의해 초기 원점이 정해지면, 기준물체의 대상체 좌표계 X축 방향 벡터를 수학식 1로 계산한다.

$$\vec{n}_x = \frac{P_2 - P_1}{|P_2 - P_1|} = \frac{(x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}$$

기준 물체의 대상체 좌표계의 Z축 방향 벡터를 수학식 2로 계산한다.

$$\begin{aligned} \vec{n}_z &= \frac{(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)}{|(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)|} \\ &= \frac{(x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) \times (x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1)}{|(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)|} \\ &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \begin{pmatrix} (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1) \\ (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1) \\ (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

상기에서,

$$A = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)$$

$$B = (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)$$

$$C = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)$$

기준 물체의 대상체 좌표계의 Y축 방향 벡터를 수학식 3으로 계산한다.

$$\vec{n}_y = \vec{n}_z \times \vec{n}_x$$

따라서, 기준 물체의 좌표계 회전 행렬(Rotation Matrix)은 수학식 4로 계산한다.

$$Rot = \begin{pmatrix} \vec{n}_x & \vec{n}_y & \vec{n}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{xx} & n_{yx} & n_{zx} \\ n_{xy} & n_{yy} & n_{zy} \\ n_{xz} & n_{yz} & n_{zz} \end{pmatrix}$$

상기에서,

$$\vec{n}_x = (n_{xx}, n_{xy}, n_{xz})$$

$$\vec{n}_y = (n_{yx}, n_{yy}, n_{yz})$$

$$\vec{n}_z = (n_{zx}, n_{zy}, n_{zz})$$

그리고, 기준 물체의 대상체 좌표계의 원점을 $P1=(x1, y1, z1)$ 으로 가정하였으므로, 대상체 좌표계의 변환행렬(Transformation Matrix)은 수학식 5와 같이 된다.

$$T_1 = \begin{pmatrix} n_{xx} & n_{yx} & n_{zx} & x_1 \\ n_{xy} & n_{yy} & n_{zy} & y_1 \\ n_{xz} & n_{yz} & n_{zz} & z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

마찬가지로, 로봇 작업을 위하여 측정하기 위해 현재 위치한 현재 작업물체의 대상체 좌표계를 설정하는 방법은 다음과 같다.

우선 현재 작업물체의 대상체 좌표계 초기 원점을 $P'1(x'_1, y'_1, z'_1)$ 으로 가정한다. 상기에 의해 원점이 정해지면, 기준물체의 대상체 좌표계 X축 방향 벡터를 수학식 6으로 계산한다.

$$\vec{n}' = \frac{P_2' - P_1'}{|P_2' - P_1'|} = \frac{(x_2' - x_1', y_2' - y_1', z_2' - z_1')}{\sqrt{(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2}}$$

기준 물체의 대상체 좌표계의 Z축 방향 벡터를 수학식 7로 계산한다..

$$\begin{aligned} \vec{n}' &= \frac{(P_2' - P_1') \times (P_3' - P_1')}{|(P_2' - P_1') \times (P_3' - P_1')|} \\ &= \frac{(x_2' - x_1', y_2' - y_1', z_2' - z_1') \times (x_3' - x_1', y_3' - y_1', z_3' - z_1')}{|(P_2' - P_1') \times (P_3' - P_1')|} \\ &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \begin{pmatrix} (y_2' - y_1')(z_3' - z_1') - (z_2' - z_1')(y_3' - y_1') \\ (z_2' - z_1')(x_3' - x_1') - (x_2' - x_1')(z_3' - z_1') \\ (x_2' - x_1')(y_3' - y_1') - (y_2' - y_1')(x_3' - x_1') \end{pmatrix} \end{aligned}$$

상기에서,

$$A = (y_2' - y_1')(z_3' - z_1') - (z_2' - z_1')(y_3' - y_1')$$

$$B = (z_2' - z_1')(x_3' - x_1') - (x_2' - x_1')(z_3' - z_1')$$

$$C = (x_2' - x_1')(y_3' - y_1') - (y_2' - y_1')(x_3' - x_1')$$

기준 물체의 대상체 좌표계의 Y축 방향벡터를 수학식 8로 계산한다.

$$\vec{n}_y' = \vec{n}_z' \times \vec{n}_x'$$

따라서, 기준 물체의 좌표계 회전 행렬(Rotation Matrix)은 수학식 9로 계산한다.

$$Rot = \begin{pmatrix} \vec{n}_x' & \vec{n}_y' & \vec{n}_z' \\ n_{xx}' & n_{yx}' & n_{zx}' \\ n_{xy}' & n_{yy}' & n_{zy}' \\ n_{xz}' & n_{yz}' & n_{zz}' \end{pmatrix}$$

상기에서,

$$\vec{n}_x' = (n_{xx}', n_{xy}', n_{xz}')$$

$$\vec{n}_y' = (n_{yx}', n_{yy}', n_{yz}')$$

$$\vec{n}_z' = (n_{zx}', n_{zy}', n_{zz}')$$

그리고, 기준 물체의 대상체 좌표계의 원점을 P'1=(x'1, y'1, z'1) 으로 가정하였으므로, 대상체 좌표계의 변환행렬(Transformation Matrix)은 수학식 10과 같이 된다.

$$T_2 = \begin{pmatrix} n_{xx}' & n_{yx}' & n_{zx}' & x_1' \\ n_{xy}' & n_{yy}' & n_{zy}' & y_1' \\ n_{xz}' & n_{yz}' & n_{zz}' & z_1' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

그러므로, 기준 물체에 대한 현재 작업물체의 틀어진 위치 및 변환량은 수학식 11과 같이 주어진다.

$$T = T_2 \cdot T_1^{-1}$$

상기와 같은 과정으로 이루어지는 기준물체와 측정물체의 좌표계를 설정하여 로봇의 작업경로 자동보정 방법에 관하여 도4의 흐름도를 참조하여 설명하면 다음과 같다.

도 4는 본 발명인 로봇의 작업경로 자동보정방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 4를 참조하여 설명하면, 로봇(30)의 레이저 비전센서(40)를 사용하여 기준물체(10)의 기준측정점의 위치를 측정한다(S100).

상기 과정 S100에서 기준물체(10)의 기준측정점이 측정되면, 기준물체(10)의 기준좌표계를 설정한다(S200).

상기 과정 S200에서 기준물체(10)의 기준좌표계가 설정되면, 로봇(30)의 레이저 비전센서(40)를 사용하여 현재측정물체(20)의 기준측정점의 위치를 측정한다(S300).

상기 과정 S300에서 현재측정물체(20)의 기준측정점이 측정되면, 기준물체(10)에 대한 현재측정물체(20)의 좌표계를 설정한다(S400).

상기 과정 S400에서 현재측정물체(20)의 좌표계가 설정되면, 상기 기준좌표계와 현재측정물체(20)의 좌표계를 이용하여 상호간의 변환량을 구한다(S500).

상기 과정 S500에 의해 변환량이 구해지면, 상기 변환량을 이용하여 보정작업을 수행한다(S600).

상기의 모든 과정을 거쳐서 본 발명이 의도하는 데로 로봇의 작업경로 자동보정방법이 구현된다.

발명의 효과

이상의 설명에서 알 수 있는 바와 같이, 본 발명은 로봇을 이용한 작업시 선형(Translation)운동과 회전(Rotation)운동에 의한 변형 외에 비틀림이나 굽힘 등에 의한 대상물체의 위치보정을 할 수 있도록 로봇 끝단에 부착된 레이저 비전 센서를 이용하여 기준 가공 대상체의 측정 기준점을 측정하여 가공 대상체

위에 물체 좌표계를 설정하고, 같은 방법으로 현재 가공 대상체의 측정 기준점을 측정하여 물체 좌표계를 설정한다. 상기에 의해 설정된 두 좌표계 사이의 변형량을 4×4 행렬로 표현하고, 상기 변형량을 로봇의 가공경로에 이용하여 보정하여, 레이저 센서를 로봇에 부착하여 이용하는 자동화 공정에서 검사나 가공의 신뢰성을 높일 수 있으며, 조작의 간편성 및 정확성이 생기는 효과가 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

산업용로봇에서 강체 또는 비강체인 작업 대상물체에 대하여 기준측정점의 이동에 따라 발생하는 위치오차의 허용오차 범위를 정하고 그 범위 내에 있는 경우의 위치 오차를 보정하는 방법에 있어서,

로봇(30)의 레이저 비전센서(40)를 사용하여 기준물체(10)의 기준측정점의 위치를 측정하는 기준측정점 측정과정(S100)과;

상기 작업 대상물이 강체인 경우 선형이동 및 곡선이동 등을 고려하고, 비강체인 경우 선형이동, 곡선이동, 비틀림 및 굽힘등 다른 부위의 변형에 의한 측정점의 이동을 고려하여 기준물체(10)의 기준 좌표계를 변환행렬로 설정하는 기준좌표계 설정과정(S200)과;

상기 로봇(30)의 레이저 비전센서(40)를 사용하여 현재 작업물체(20)의 기준측정점의 위치를 측정하는 현재기준측정점 측정과정(S300)과;

상기 작업 대상물이 강체인 경우 선형이동 및 만곡이동 등을 고려하고, 비강체인 경우 선형이동, 만곡이동, 비틀림 및 굽힘등 다른 부위의 변형에 의한 측정점의 이동을 고려하여 기준물체(10)에 대한 현재작업물체(20)의 좌표계를 변환행렬로 설정하는 현재작업좌표계 설정과정(S400)과;

상기 설정된 기준물체(10)의 기준좌표계와 상기 현재작업물체(20)의 현재작업물체좌표계를 이용하여 상호간의 변형량을 4×4 행렬로 계산하는 변환량계산과정(S500)과;

상기 계산된 변환량을 이용하여 필요한 로봇의 작업경로를 보정작업을 수행하는 보정과정(S600)을 포함하는 강체 및 비강체 대상물에 대한 로봇의 작업경로 자동보정방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 기준좌표계설정과정에서 설정된 좌표계의 변환행렬은 다음의 과정에 의해 구해지는 것을 특징으로 하는 강체 및 비강체 대상물에 대한 로봇의 작업경로 자동보정방법.

(a) 기준 물체의 대상체 좌표계 초기 원점을 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 으로 가정한다.

(b) 상기 a 과정에 의해 초기 원점이 정해지면, 기준물체의 대상체 좌표계 X축 방향 벡터를 수학적 식 1로 계산한다.

$$\vec{n_x} = \frac{P_2 - P_1}{|P_2 - P_1|} = \frac{(x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}$$

(c) 상기 기준 물체의 대상체 좌표계의 Z축 방향 벡터를 수학적 식 2로 계산한다.

$$\begin{aligned} \vec{n_z} &= \frac{(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)}{|(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)|} \\ &= \frac{(x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) \times (x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1)}{|(P_2 - P_1) \times (P_3 - P_1)|} \\ &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \begin{pmatrix} (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1) \\ (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1) \\ (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

상기에서,

$$A = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)$$

$$B = (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)$$

$$C = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)$$

(d) 상기 기준 물체의 대상체 좌표계의 Y축 방향 벡터를 수학적 식 3으로 계산한다.

$$\vec{n}_y = \vec{n}_x \times \vec{n}_z$$

(e) 따라서, 상기 기준 물체의 좌표계 회전 행렬(Rotation Matrix)은 수학적 식 4로 계산한다.

$$Rot = \begin{pmatrix} \vec{n}_x & \vec{n}_y & \vec{n}_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{xx} & n_{yx} & n_{zx} \\ n_{xy} & n_{yy} & n_{zy} \\ n_{xz} & n_{yz} & n_{zz} \end{pmatrix}$$

상기에서,

$$\vec{n}_x = (n_{xx}, n_{xy}, n_{xz})$$

$$\vec{n}_y = (n_{yx}, n_{yy}, n_{yz})$$

$$\vec{n}_z = (n_{zx}, n_{zy}, n_{zz})$$

(f) 상기 기준 물체의 대상체 좌표계의 원점을 P1=(x1, y1, z1) 으로 가정하였으므로, 상기 대상체 좌표계의 변환행렬(Transformation Matrix)을 수학적 식 5와 같이 구한다.

$$T_1 = \begin{pmatrix} n_{xx} & n_{yx} & n_{zx} & x_1 \\ n_{xy} & n_{yy} & n_{zy} & y_1 \\ n_{xz} & n_{yz} & n_{zz} & z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

여기에서, P1(x1, y1, z1), P2(x2, y2, z2), P3(x3, y3, z3)은 상기 기준 물체에서 측정한 기준 측정점의 위치를 나타낸다.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 현재작업좌표계 설정과정에서 설정된 좌표계의 변환행렬은 다음의 과정으로 구해지는 것을 특징으로 하는 강체 및 비강체 대상물에 대한 로봇의 작업경로 보정방법.

(g) 현재 작업물체의 대상체 좌표계 초기 원점을 P'1(x'1, y'1, z'1)으로 가정하여 정한다.

(h) 상기 g과정에 의해 원점이 정해지면, 기준물체의 대상체 좌표계 X축 방향 벡터를 수학적 식 6으로 계산한다.

$$\vec{n}' = \frac{P_2' - P_1'}{|P_2' - P_1'|} = \frac{(x_2' - x_1', y_2' - y_1', z_2' - z_1')}{\sqrt{(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2}}$$

(i) 상기 기준 물체의 대상체 좌표계의 Z축 방향 벡터를 수학식 7로 계산한다.

$$\begin{aligned}\vec{n}' &= \frac{(\vec{P}_2' - \vec{P}_1') \times (\vec{P}_3' - \vec{P}_1')}{|(\vec{P}_2' - \vec{P}_1') \times (\vec{P}_3' - \vec{P}_1')|} \\ &= \frac{(x_2' - x_1', y_2' - y_1', z_2' - z_1') \times (x_3' - x_1', y_3' - y_1', z_3' - z_1')}{|(\vec{P}_2' - \vec{P}_1') \times (\vec{P}_3' - \vec{P}_1')|} \\ &= \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \begin{pmatrix} (y_2' - y_1')(z_3' - z_1') - (z_2' - z_1')(y_3' - y_1') \\ (z_2' - z_1')(x_3' - x_1') - (x_2' - x_1')(z_3' - z_1') \\ (x_2' - x_1')(y_3' - y_1') - (y_2' - y_1')(x_3' - x_1') \end{pmatrix}\end{aligned}$$

상기에서,

$$A = (y_2' - y_1')(z_3' - z_1') - (z_2' - z_1')(y_3' - y_1')$$

$$B = (z_2' - z_1')(x_3' - x_1') - (x_2' - x_1')(z_3' - z_1')$$

$$C = (x_2' - x_1')(y_3' - y_1') - (y_2' - y_1')(x_3' - x_1')$$

(j) 상기 기준 물체의 대상체 좌표계의 Y축 방향벡터를 수학식 8로 계산한다.

$$\vec{n}_y' = \vec{n}_z' \times \vec{n}_x'$$

(k) 상기 기준 물체의 좌표계 회전 행렬(Rotation Matrix)은 수학식 9로 계산한다.

$$Rot = \begin{pmatrix} \vec{n}_x' & \vec{n}_y' & \vec{n}_z' \\ n_x & n_y & n_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{xx}' & n_{yx}' & n_{zx}' \\ n_{xy}' & n_{yy}' & n_{zy}' \\ n_{xz}' & n_{yz}' & n_{zz}' \end{pmatrix}$$

상기에서,

$$\vec{n}_x' = (n_{xx}', n_{xy}', n_{xz}')$$

$$\vec{n}_y' = (n_{yx}', n_{yy}', n_{yz}')$$

$$\vec{n}_z' = (n_{zx}', n_{zy}', n_{zz}')$$

(l) 따라서, 기준 물체의 대상체 좌표계의 원점을 $P'1=(x'1, y'1, z'1)$ 으로 가정하였으므로 대상체 좌표계의 변환행렬(Transformation Matrix)을 수학식 10과 같이 구한다.

$$T_2 = \begin{pmatrix} n_{xx}' & n_{yx}' & n_{zx}' & x_1' \\ n_{xy}' & n_{yy}' & n_{zy}' & y_1' \\ n_{xz}' & n_{yz}' & n_{zz}' & z_1' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

여기에서, $P'1(x'1, y'1, z'1)$, $P'2(x'2, y'2, z'2)$, $P'3(x'3, y'3, z'3)$ 은 현재측정 물체에서 측정한 기준 측정점의 위치를 나타낸다.

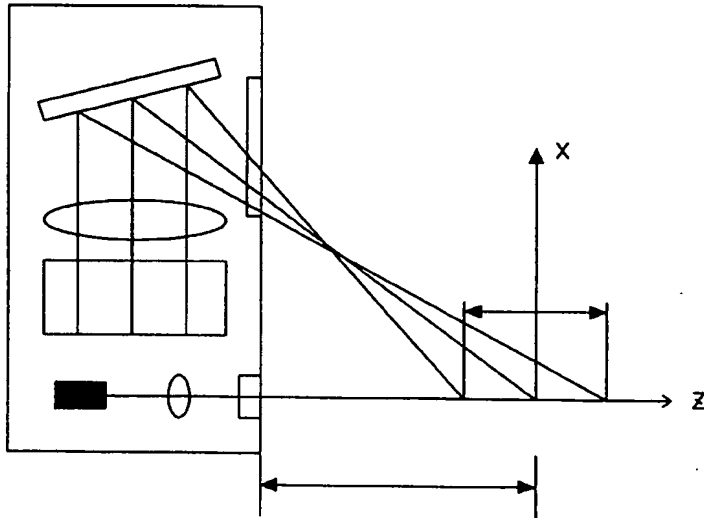
청구항 4

청구항 1, 청구항 2 또는 청구항 3에 있어서, 상기 기준물체에 대한 현재 작업물체의 들어진 위치 및 변환량은 수학식 11과 같이 구해지는 것을 특징으로 하는 강체 및 비강체 대상물에 대한 로봇의 작업경로 자동보정방법.

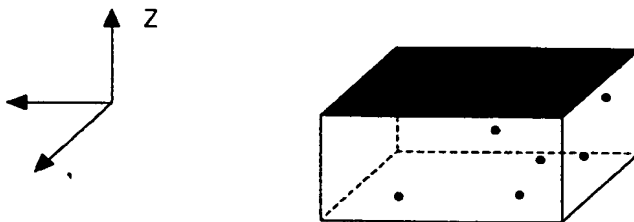
$$T = T_2 \cdot T_1^{-1}$$

도면

도면1



도면2



BEST AVAILABLE COPY

도면4

